10.22092/sppi.2022.358030.1246

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۷، شماره ۳، سال ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برخی صفات زراعی و کیفیت غده سیب‌زمینی با استفاده تجزیه دی‌آلل

Estimation of General and Specific Combining Abilities of Some Agronomic and Tuber Quality Traits of Potato Using Dialle Analysis

داود حسن پناه[۱] و احمد موسی پورگرجی[۲]

۱- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.

۲- دانشیار، بخش تحقیقات سبزی، صیفی و حبوبات آبی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰

چکیده

داود حسن پناه، د. و موسی پورگرجی، ا. ۱۴۰۰. برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برخی صفات زراعی و کیفیت غده سیب‌زمینی با استفاده تجزیه دی‌آلل. **مجله نهال و بذر۳۷:** ۳۹۷-۳۷۹.

در این پژوهش برای برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و وراثت‌پذیری برخی صفات زراعی و کیفیت غده ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی از تجزیه دی‌آلل به روش گریفینگ استفاده شد. تلاقی‌های دو طرفه بین چهار رقم تجاری ساوالان، لوکا، ساتینا و کایزر به عنوان والد انجام شد. تلاقی‌ها و ازدیاد غده ها بذری اولیه در گلخانه و آزمایش اصلی مقایسه نتاج در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق اردبیل در سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ انجام گردید. بین ژنوتیپ‌ها، از لحاظ میانگین عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی و درصد ماده خشک غده تفاوت معنی‌دار وجود داشت. ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای عملکرد غده، وزن غده در بوته و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای عملکرد غده، وزن غده در بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته مربوط به ارقام لوکا و ساوالان بود. بیشترین ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار برای عملکرد غده در ترکیب‌های لوکا♀×ساوالان♂، لوکا♀×ساتینا♂، لوکا♀×کایزر♂، ساوالان♀×کایزر♂، کایزر♀×لوکا♂ و کایزر♀×ساوالان♂ مشاهده شد. عملکرد غده، وزن غده در بوته، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته و درصد ماده خشک غده دارای وراثت‌پذیری عمومی بالا بودند.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، عملکرد غده، ارتفاع بوته، درصد ماده خشک، وراثت‌پذیری.

نگارنده مسئول: d.hassanpanah@areeo.ac.ir تلفن: ۰۴۵۳۳۹۲۷۴۰۹

مقدمه

سیب‌زمینی یکی از مهمترین گیاهان زراعی است و از نظر اهمیت غذایی و تولید بعد از گندم و برنج قرار دارد (Upadhya *et al.*, 1996). در سال ۲۰۲۱، سطح زیرکشت سیب‌زمینی در دنیا حدود ۱۸ میلیون هکتار و تولید آن ۳۶۸ میلیون تن بود. بزرگ‌ترین تولیدکننده سیب‌زمینی دنیا، کشور چین با تولید حدود ۱۰۰ میلیون تن گزارش شده است. ایران در جهان رتبه سیزده و در آسیا بعد از چین و هند رتبه سوم را دارد (FAO, 2021). براساس آمارنامه سال ۱۳۹۸ وزارت جهاد کشاورزی، سطح برداشت سیب‌زمینی در ایران حدود ۱۴۲ هزار هکتار با تولید حدود پنج میلیون تن و عملکرد حدود ۳۶ تن درهکتار بود (Ahmadi *et al.*, 2020).

برنامه به‌نژادی برای بهبود عملکرد مستلزم شناخت تنوع ژنتیکی، اثر و عمل ژن‌ها روی تظاهر صفات و میزان وراثت‌پذیری است (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2018). برآورد ترکیب‌پذیری عمومی (General combining ability = GCA) و ترکیب‌پذیری خصوصی (Specific combining ability = GCA) به به‌نژادگران کمک می کند تا در مورد روش به‌نژادی و انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب تصمیم‌گیری کنند (De la Vega and Chapman, 2006). در برنامه های به‌نژادی شناخت نوع عمل ژن‌ها در کنترل ژنتیکی صفات از اهمیت زیادی برخوردار است (Mohammadi *et al.*, 3013). برای شناخت نوع عمل ژن‌ها، برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، اجزای ژنتیکی و وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی، طرح تلاقی دی‌آلل مناسب می‌باشد (Mohammadi *et al.*, 2013).

برآورد اجزای ژنتیکی برای انتخاب مناسب‌ترین والدین برای بهبود صفات مورد نظر موثر می‌باشد (Griffing, 1956). برای موفقیت هر چه بیشتر برنامه‌های به‌نژادی، به‌نژادگران بایستی اطلاعاتی در مورد خصوصیات و اثر ژنتیکی والدین مورد استفاده در برنامه‌های به‌نژادی داشته باشند. هر قدر به‌نژادگران اطلاعات بیشتری در زمینه مواد ژنتیکی مورد استفاده داشته باشند، دقت و صحت انتخاب افزایش می‌یابد. برآوردهای وراثت‌پذیری به به نژادگران امکان می‌دهد که پیشرفت ژنتیکی تحت شرایط گزینش را از طریق انواع روش‌های گزینش در شدت‌های مختلف گزینش پیش‌بینی کنند (Ahmadian *et al.*, 2016).

در اصلاح‌نباتات گزینش برای اثر افزایشی مطمئن‌تر بوده و در نتیجه انتقال صفات دارای واریانس افزایشی به نسل‌های بعدی آسان‌تر است (Mohammadi *et al.*, 2013). وراثت‌پذیری خصوصی برای تمامی صفات حاکی از بازده ژنتیکی متوسط گزینش به منظور بهبود این صفات می‌باشد (Golparvar *et al.*, 2004).

عملکرد، صفتی کمی بوده و توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود. همچنین وراثت‌پذیری این صفت به دلیل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط پایین بوده و بنابراین انتخاب

براساس عملکرد برای بهبود آن مفید نیست (Richards, 1996). صفات مورفولوژیک و فنولوژیک به سادگی و با دقت زیاد قابل اندازه‌گیری بوده و توارث‌پذیری نسبتاً بالایی دارند، بنابراین انتخاب براساس این صفات، راه مطمئن‌تر و سریعی برای بهبود عملکرد می‌باشد (Yap and Harvey, 1972).

وراثت‌پذیری عمومی بالا و وراثت‌پذیری خصوصی پایین و تفاوت قابل ملاحظه آنها دلالت بر سهم اندک واریانس افزایشی در مقایسه با واریانس غیرافزایشی درکنترل صفات دارد. بنابراین انتخاب در نسل‌های اولیه نمی‌تواند چندان موفقیت‌آمیز باشد و به نسل‌های پیشرفته برنامه به‌نژادی موکول می‌شود (Sadat Hashemi *et al.*, 2008). انتخاب روش به‌نژادی مناسب برای بهره‌برداری از پتانسیل ژنتیکی صفات مختلف زراعی در یک گیاه بستگی به نوع عمل ژن‌های کنترل کننده یک صفت و نحوه توارث آنها دارد (Akhtar and Chowdhry, 2006).

براساس آزمون ترکیب‌پذیری برای صفات مختلف، مقادیر بالاتر ترکیب‌پذیری خصوصی حاکی از سهم بیشتر اثر غالبیت ژن‌ها و اثر بالاتر ترکیب‌پذیری عمومی بیانگر سهم بیشتر اثر افزایشی ژن‌های کنترل کننده خصوصیات مورد نظر در گیاهان می‌باشد (Fehr, 1993). راتر و همکاران (Rather *et al.*, 2007) بیان نمودندکه واریانس ناشی از ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی اهمیت اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن را در توارث کلیه صفات مطالعه شده نشان می‌دهد.

اثر معنی‌دار ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای صفات وجود اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها درکنترل ژنتیکی صفات را آشکار می‌کند. با توجه به سهم بیشتر اثر غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی و مقادیر قابلیت توارث خصوصی صفات، بازده ژنتیکی گزینش آنها به ویژه در نسل‌های اولیه به‌نژادی پایین می‌باشد و گزینش برای بهبود ژنتیکی صفات می‌بایست از نسل‌های پیشرفته به‌نژادی آغاز شود. سانفورد (Sanford, 1960) بیان کرد که برای عملکرد غده سیب‌زمینی، ترکیب‌پذیری خصوصی نسبتاً مهمتر از ترکیب‌پذیری عمومی و برای وزن مخصوص غده، ترکیب‌پذیری عمومی نسبتاً مهمتر از ترکیب‌پذیری خصوصی و برای ظاهر غده، ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی اهمیت یکسانی داشت.

گوپال (Gopal, 1998) با مطالعه ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی در ۹۴ ژنوتیپ سیب‌زمینی اعلام کرد در کلیه نسل‌های مورد بررسی میزان واریانس ترکیب پذیری خصوصی نسبت به واریانس ترکیب پذیری عمومی بیشتر بود. موندال و حسین (Mondal and Hossain, 2006) با بررسی ۵۴ ژنوتیپ سیب‌زمینی، نتیجه گرفتند میزان واریانس ترکیب پذیری خصوصی نسبت به واریانس ترکیب پذیری عمومی برای عملکرد غده، تعداد روز تا جوانه‌زنی، ارتفاع بوته، تعداد

ساقه اصلی در بوته، تعداد و وزن غده در بوته و میزان ماده خشک غده بیشتر بود که نشان دهنده نقش بیشتر اثر غیرافزایشی در کنترل این صفات است.

رویز دی گالارتا و همکاران (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2006) با مطالعه ۱۴ ژنوتیپ سیب‌زمینی اعلام نمودند اهمیت ترکیب‌پذیری خصوصی در صفات عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته بیشتر از ترکیب‌پذیری عمومی بود. ساتار و همکاران (Sattar *et al.*, 2007) با بررسی ۲۸ ژنوتیپ سیب‌زمینی، وراثت‌پذیری و بازده ژنتیکی بالا برای صفات عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته مشاهده کردند. حیدر و همکاران (Haydar *et al.*, 2009a) با بررسی ۱۷ ژنوتیپ سیب‌زمینی، گزارش کردند میزان واریانس ترکیب پذیری خصوصی برای همه صفات بیشتر از ترکیب پذیری عمومی بود که این امر نشان دهنده تاثیر بیشتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها می‌باشد. محمد (Mohammed, 2009) گزارش نمود اثر ترکیب‌پذیری عمومی مهمتر از ترکیب‌پذیری خصوصی در صفات مورد مطالعه بود. حیدر و همکاران (Haydar *et al.*, 2009b) با بررسی ۳۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی وراثت‌پذیری و بازده ژنتیکی بالا برای صفت عملکرد غده مشاهده کردند.

مانیوال و همکاران (Manivel *et al.*, 2010) گزارش کردند وجود حداقل یک والد با ترکیب پذیری عمومی مناسب باعث تولید نتاج با میزان هتروزیس بالا برای صفات مختلف می‌شود. مقدس‌زاده و همکاران (Moghaddaszadeh *et al.*, 2019) با مطالعه ترکیب‌پذیری و هتروزیس عملکرد غده و تعدادی از صفات زراعی در سیب‌زمینی گزارش کردند رقم کایزر دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای عملکرد غده، وزن و تعداد غده در بوته، تعداد ساقه اصلی و ارتفاع بوته بود. ایشان نسبت واریانس ترکیب‌پذیری عمومی به واریانس ترکیب‌پذیری خصوصی و ضریب بیکر برای تمام صفات مورد مطالعه کمتر از یک اعلام نمودند که این امر حاکی از نقش موثرتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی صفات مورد بررسی در سیب‌زمینی دارد.

هدف از این پژوهش برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، برآورد اجزای ژنتیکی، وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی و شناخت نوع عمل ژن‌ها برای برخی صفات زراعی و کیفیت غده در چهار ژنوتیپ سیب زمینی تجاری به منظور استفاده از آنها در برنامه‌های ملی به‌نژادی سیب‌زمینی بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از چهار رقم تجاری ساوالان، لوکا، ساتینا و کایزر به عنوان والد استفاده شد. این ارقام به روش دورگ‌گیری دوطرفه در گلخانه ایستگاه تحقیقات سیب‌زمینی اردبیل در سال ۱۳۹۵ تلاقی داده شدند. برای

انجام تلاقـی از هـر گـل آذیـن دو گـل مناسـب انتخـاب و مـابقی گـل‌هـا حـذف شـدند. طـرح آزمایشــی براســاس تجزیــه دی‌آلــل بــه روش گریفینگ با مدل ثابت (والدین، F1 تلاقـی‌هـای مسـتقیم و معکـوس) (Neele *et al.*, 1991; Ruiz de Galarreta *et al.*, 2006; Gopal and Khurana, 2006; Kellick, 2008; Terres *et al.*, 2017; Rahimi Darabad *et al.*, 2020; Campos and Ortiz, 2020) بود.

تلاقی‌ها صبح زود یا بعد از غروب خورشـید و خنک شدن هوا انجـام شـد. بـذرهای حقیقـی حاصل از تلاقی‌های به تعداد حـدود ۸۰۰۰ بـذر برداشت شدند. با هدف تولید غـده بـذری نسـل اول بذرهای حقیقی حاصل از تلاقی‌هـا در سـال ۱۳۹۶ در گلخانـه و در گلـدان‌هـای پلاسـتیکی ۱۰×۱۰ سـانتی‌متـر محتـوی پیـت‌مـاس و پوکـه معدنی به نسـبت حجمـی ۱:۱ کشـت شـدند. در طـی مراحـل رشـد، عملیـات آبیـاری و وجـین علف‌های هرز بـه طـور مـنظم انجـام شـد. بـرای مبارزه با آفات از سم کنفیدور بـه مقـدار ۰/۰۲۵ میلی‌لیتر در ۴۰ میلی‌لیتر آب در مترمربع و بـرای مبـارزه بـا بیمـاری‌هـای قـارچی از قـارچ‌کـش مانکوزب به مقدار ۰/۱ گرم در ۴۰ میلی‌لیتر آب در مترمربع استفاده شد.

شــرایط محیطــی رشــد در کلیــه مراحــل پژوهش در گلخانـه بـا طـول دوره روشـنایی ۱۶ ساعت و هشت ساعت تـاریکی و دمـای ۲۲-۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵-۶۵ درصد بود. از هر ژنوتیپ تعداد ۲۵۰ بذر حقیقی کشت شـد و حـدود ۴۰ درصـد بـذرهای کاشـته شـده ژنوتیـپ‌هـا سـبز شـدند. در نسـل اول کلونـال (First clonal generation)، پـس از سـه مـاه غده‌های بذری والدین و دورگ ها به اندازه ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر برداشت شدند (Gopal, 1997).

در سـال ۱۳۹۷، غـده‌هـای بـذری تعـداد ۱۶ ژنوتیـپ (۱۲ دورگ + چهـار والـدین) ازدیـاد شــدند. در ســال ۱۳۹۸، از هــر ژنوتیــپ تعــداد ســه غــده یکســان و هــم انــدازه انتخــاب گردیـد (Gopal, 1997). در نسـل دوم کلونـال (Second clonal generation)، تعــداد ۱۶ ژنوتیپ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در آزمایش اصلی کشت و بررسی شدند. هر کرت شامل چهار ردیف پنج متری به تعداد ۱۰۰ بوته با فاصلۀ ردیـف‌هـای کاشـت از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر و فاصـلۀ غـده‌هـا در روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر بود.

در مراحل رشد در مزرعه، عملیـات آبیـاری و وجین علف‌های هرز به طور منظم انجـام شـد. در طـول دوره رشـد و پـس از برداشـت دورگ ها، میانگین تعداد ساقه اصلی، قطر سـاقه اصـلی، ارتفاع بوته، تعداد غده و وزن غده در ۱۰۰ بوتـه (Gopal, 1997) و درصد ماده خشـک غـده در ۱۰ غده اندازه‌گیری شد. غده‌های برداشت شده در هر کـرت تـوزین و سـپس بـه تـن در هکتـار تبدیل گردید.

آزمــون نرمــال بــودن توزیــع داده‌هــا بــا آزمــــون کولمــــوگروف- اســــمیرنوف (Kolmogorov–Smirnov test) (Gunarto, 2019)

انجام شد. سپس تجزیه واریانس داده ها با نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام گردید. میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

اثر ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و اجزای ژنتیکی در ژنوتیپ‌ها به شرح ذیل برآورد شد.

- مجموع مربعات ترکیب‌پذیری عمومی (SS_{gca}) (Moghadam and Amiri Oghan, 2010):

$$SS_{gca} = 1/2p \times \Sigma(Y_{io}+ Y_{oj})^2 - 2/P^2\, Y^2_{OO}$$

Y_{io}: مجموع مقادیر میانگین دورگ های والد i در تلاقی‌های مستقیم

$$Y_{io}= \Sigma Y_{ij}= Y_{i1}+ Y_{i2}+ Y_{i3}+ Y_{i4}$$

Y_{oj}: مجموع مقادیر میانگین دورگ ها والد i در تلاقی‌های معکوس

$$Y_{oj} = \Sigma Y_{ij} = \Sigma Y_{1j} + Y_{2j}+ Y_{3j}+ Y_{4j}$$

Y_{OO}: جمع میانگین‌های نتاج = مجموع مقادیر میانگین تمامی دورگ ها در تلاقی‌های مستقیم یا معکوس

P: تعداد والدین

- مجموع مربعات ترکیب پذیری خصوصی (SS_{sca}) (Moghadam and Amiri Oghan, 2010):

$$SS_{sca} = \{1/2\times \Sigma\Sigma Y_{ij} (Y_{ij}+Y_{ji})\} - \{1/2P \times (Y_{io}+Y_{oj})^2\}+ \{2/p^2 \times Y^2_{OO}\}$$

$(Y_{ij}-Y_{ji})$: مجموع میانگین دورگ دو والد مشخص در تلاقی مستقیم و تلاقی معکوس

- مجموع مربعات اثر تلاقی‌های معکوس (SS_{rec}) (Moghadam and Amiri Oghan, 2010):

$$SS_{rec} = 1/2\times\Sigma\Sigma\, (Y_{ij}-Y_{ji})^2$$

$(Y_{ij}-Y_{ji})^2$: تفاوت میانگین دورگ دو والد مشخص در تلاقی مستقیم و تلاقی معکوس به توان دو

- میانگین مربعات تصحیح شده خطا (Me´) (Moghadam and Amiri Oghan, 2010):

$$Me´= MSe/r$$

برآورد اثر ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) برآورد اثر ترکیب‌پذیری عمومی به شرح ذیل محاسبه شد (Moghadam and Amiri Oghan, 2010):

$$GCA = 1/2P \times (Y_{io}+ Y_{oj}) - 1/P^2 \times Y_{OO}$$

- خطای معیار (SE) برای آزمون معنی‌دار بودن GCA (Kempthorne, 1957; Moghadam and Amiri Oghan, 2010):

$$SE_{gi} = \sqrt{\{[(P-1) / 2P^2 \times Me´]\}}$$

$$P_i: t = P_i(gca) / SE_{gi}$$

- اثر ترکیب پذیری خصوصی (SCA) (Moghadam and Amiri Oghan, 2010):

برآورد اثر ترکیب‌پذیری خصوصی به شرح ذیل محاسبه گردید:

$$S_{ij} = 1/2\, (Y_{ij}+Y_{ji}) - 1/2P\, (Y_{io}+Y_{oi}+Y_{jo}+Y_{oj}) + 1/P^2\, Y_{oo}$$

- خطای معیار برای آزمون معنی‌دار بودن SCA (Kempthorne, 1957; Moghadam and Amiri Oghan, 2010):

$$SE_{Sij} = \sqrt{[(P^2-2P+2) / 2P^2 \times Me´]}$$

$$df: P(P-1)/2=15 \qquad t(S_{ij}) = S_{ij}/ SE_{sij}$$

- اثر معکوس (r_{ij}) :

$$r_{ij} = (Y_{ij}-Y_{ji}) /2$$

– خطای معیار برای آزمون معنی‌دار بودن r_{ij} (Kempthorne, 1957; Moghadam and Amiri Oghan, 2010):

$SE_{rij} = \sqrt{(Me'/2)}$

$t(rij) = rij / SE_{rij}$

وراثت‌پذیری عمومی (Teklewold and Becker, 2005):

$h^2_b = (\sigma^2_G / \sigma^2_P) \times 100$

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده ها نشان داد بین ژنوتیپ‌ها از نظر میانگین عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی و درصد ماده خشک غده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد وجود داشت (جدول ۱). این نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی کافی بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه بود. مقدس‌زاده و همکاران (Moghaddaszadeh *et al.,* 2019) نیز گزارش کردند بین دورگ های سیب‌زمینی مورد مطالعه از نظر عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته و ارتفاع بوته تفاوت معنی‌دار وجود داشت.

مقایسه میانگین ها نشان داد عملکرد غده مربوط به دورگ های ♂Caeser×♀Luca و ♂Savalan×♀Satina، وزن غده در بوته مربوط به دورگ های ♂Satina×♀Luca، ♂Caeser×♀Luca، ♂Luca×♀Savalan و ♂Savalan×♀Satina، تعداد غده در بوته مربوط به دورگ های ♂Satina×♀Luca، ♂Luca×♀Savalan، ♂Caeser×♀Savalan، ارتفاع بوته مربوط به دورگ های ♂Satina×♀Luca، ♂Savalan×♀Luca، ♂Satina×♀Savalan، ♂Savalan×♀Satina، ♂Luca×♀Satina، ♂Caeser×♀Satina، ♂Savalan×♀Caeser، ♂Luca×♀Caeser، ♂Satina×♀Caeser و والدین ساوالان، تعداد ساقه اصلی در بوته مربوط به دورگ های ♂Satina×♀Luca، ♂Caeser×♀Luca و ♂Satina×♀Caeser، میانگین قطر ساقه اصلی مربوط به دورگ های ♂Caeser×♀Savalan و ♂Savalan×♀Satina و درصد ماده خشک غده مربوط به دورگ های ♂Caeser×♀Luca و ♂Savalan×♀Luca بیشتر بود (جدول ۲).

با توجه به این که میانگین مربعات ژنوتیپ‌ها برای صفات مورد بررسی معنی‌دار شد، بنابراین برای برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و وراثت‌پذیری عمومی، از تجزیه دای‌آلل به روش گریفینگ (Griffing, 1956) از مدل ثابت استفاده شد. تجزیه واریانس ترکیب‌پذیری صفات اندازه‌گیری شده نشان داد بین ترکیب‌پذیری عمومی، از نظر عملکرد غده، وزن غده در بوته و ارتفاع بوته، و بین ترکیب‌پذیری خصوصی از نظر عملکرد غده، وزن و تعداد غده در بوته، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، میانگین قطر ساقه اصلی و

جدول ۱- تجزیه واریانس برای برخی صفات زراعی و کیفیت غده ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی

Table 1. Analysis of variance for some agronomic and tuber quality traits of potato genotypes

			Mean squares میانگین مربعات						
S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی D.f.	عملکرد غده Tuber yield	وزن غده در بوته Tuber weight plant^{-1}	تعداد غده در بوته Tuber number plant^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number plant^{-1}	میانگین قطر ساقه اصلی Mean of main stem diameter	درصد ماده خشک غده Dry matter content
Replication	تکرار	2	46.67	10563.33	1.980	45.00	0.963	0.542	5.13
Genotype	ژنوتیپ	15	430.13**	164808.08**	6.980**	129.54**	3.150**	21.140**	13.38*
Error	خطا	30	37.53	15833.33	1.563	25.00	0.563	0.512	6.25
C.V. (%)	درصدضریب تغییرات	-	11.37	12.56	14.76	7.02	16.22	6.91	12.04

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

جدول ۲ – مقایسه میانگین برخی صفات زراعی و کیفیت غده ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی

Table 2. Mean comparison of some agronomic and tuber quality traits of potato genotypes

تلاقی/ رقم Cross/ cultivar	میانگین عملکرد غده (تن در هکتار) Mean of tuber yield (tonha^{-1})	میانگین وزن غده در بوته (گرم) Mean of tuber weight plant^{-1} (g)	میانگین تعداد غده در بوته Mean of tuber number plant^{-1}	میانگین ارتفاع بوته (سانتیمتر) Mean of plant height (cm)	میانگین تعداد ساقه اصلی در بوته Mean of main stem number plant^{-1}	میانگین قطر ساقه اصلی (میلیمتر) Mean of main stem diameter (mm)	میانگین درصد ماده خشک غده Dry matter content (%)
Luca × Satina	64.67	1280.54	11.00	75.38	6.00	13.35	21.72
Luca × Caeser	77.25	1457.59	8.00	66.79	4.00	11.70	22.63
Luca × Savalan	56.88	1073.25	9.00	71.35	5.00	11.53	22.44
Savalan × Caeser	62.94	1187.50	10.00	66.66	5.00	14.16	20.24
Savalan × Satina	42.29	797.92	7.00	76.11	4.00	15.00	20.40
Savalan × Luca	56.77	1246.66	9.98	67.00	4.00	11.20	21.99
Satina × Savalan	71.88	1356.25	9.00	76.16	3.00	12.83	20.24
Satina × Luca	64.56	946.98	7.00	75.67	5.00	9.00	20.24
Satina × Caesar	44.50	856.42	7.00	80.60	4.00	8.00	20.44
Caeser × Savalan	44.89	846.88	11.56	72.48	4.00	12.39	20.33
Caeser × Luca	50.98	973.21	8.00	77.89	6.00	7.00	20.11
Caeser × Satina	46.66	891.69	7.00	78.90	7.00	8.00	20.20
Satina	36.65	769.00	7.00	58.50	4.00	7.00	20.34
Luca	45.87	775.00	7.00	62.59	5.00	8.00	20.84
Caesar	39.05	706.00	8.00	62.58	4.00	10.00	20.03
Savalan	56.30	869.00	8.00	70.89	4.00	8.00	20.10
LSD 5%	10.21	209.82	2.08	8.34	1.25	1.20	4.17

درصد ماده خشک غده و بین اثر معکوس از نظر صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته و ارتفاع بوته تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳).

ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی عملکرد غده، وزن غده در بوته و ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۳) که نشان‌دهنده این است که اثر افزایشی و غیرافزایشی با هم این صفات را کنترل می کنند. معنی‌دار شدن ترکیب‌پذیری عمومی بیانگر این است که اثر ژنی افزایشی در کنترل صفات نقش دارند و معنی‌دار شدن ترکیب‌پذیری خصوصی نشان می‌دهد که این صفات توسط اثر غیرافزایشی کنترل می‌شوند (Khani *et al.*, 2005; Khahani *et al.*, 2018). برای معنی‌دار شدن قوی اثر تلاقی‌های مربوط به یک صفت، لازم نیست که همه اجزای آن معنی‌دار شوند، بلکه معنی‌دار شدن حتی فقط یک جزء می‌تواند سبب معنی‌دار شدن آن گردد، ولی عکس این مطلب درست نیست (Kempthorne, 1957). معنی‌دار شدن میانگین مربعات اثر معکوس صفات در سطح احتمال یک درصد نشانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین تلاقی‌های مستقیم و معکوس می‌باشد (Mohammadi *et al.*, 3013).

در این پژوهش، اثر ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای اکثر صفات معنی‌دار بود و نشان داد که تفاوت برای میزان ترکیب‌پذیری عمومی والدین و ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها وجود دارد (جدول ۳). تعدادی از والدین دارای ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) مثبت و معنی‌دار و تعدادی دیگر منفی و معنی‌دار بودند (جدول ۴). بنابراین بستگی به جهت و هدف برنامه به‌نژادی می‌توان والدین مورد نظر را انتخاب نمود (Fathi *et al.*, 2007).

بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای عملکرد غده، وزن غده در بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته به ترتیب مربوط به ارقام لوکا و ساوالان بود (جدول ۴). بنابراین می‌تواند این صفات را به خوبی به نتاج منتقل نموده و باعث بهبود آنها شود. معنی‌دار شدن اثر ترکیب‌پذیری عمومی بیانگر وجود نقش اثر افزایشی در کنترل صفات بود. بنابراین در این ارقام فراوانی ژن‌های با اثر افزایشی زیاد بوده و برای برنامه‌های به‌نژادی مبتنی بر گزینش می‌توان از آن سود جست (Ahmad *et al.*, 2009).

ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای عملکرد غده و وزن غده در بوته در ارقام ساتینا و کایزر و ارتفاع بوته در رقم کایزر قابلیت چندانی در انتقال این صفات نداشته و در نتیجه باعث کاهش مقادیر این صفات در نتاج حاصل می شود (جدول ۴). ارقامی که دارای ترکیب پذیری عمومی معنی‌دار برای صفت یا صفات خاص می‌باشند این گونه والدین به آسانی انتقال صفت مورد نظر را به نتاج خود میسر می‌سازند و به عبارت دیگر ارقامی مناسب در برنامه به نژادی برای انتقال صفات مورد نظر می‌باشند (جدول ۴).

جدول ۳- میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی، خصوصی و معکوس برای برخی صفات زراعی و کیفیت غده سیب زمینی

Table 3. Mean of squares of general combining ability (GCA), specific combining ability (SCA) and reciprocal (REC) for some agronomic and tuber quality traits of potato

			میانگین مربعات M.S.						
S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی D.f.	عملکرد غده Tuber yield	وزن غده در بوته Tuber weight plant^{-1}	تعداد غده در بوته Tuber number plant^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number plant^{-1}	میانگین قطر ساقه اصلی Mean of main stem diameter	درصد ماده خشک غده Dry matter content
GCA	ترکیب‌پذیری عمومی	3	102.55**	24557.80**	2.32	9.015**	1.083	4.760	1.31
SCA	ترکیب‌پذیری خصوصی	6	2093.80**	761033.54**	51.69**	3834.050**	17.860**	90.500**	656.08**
REC	ترکیب‌پذیری معکوس	6	158.01**	126456.47**	1.95	14.920**	0.420	1.560	0.39
Error	خطا	30	12.51	5277.78	1.38	6.500	0.280	3.475	1.02

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

جدول۴- برآورد ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) برای برخی صفات زراعی و کیفیت غده سیب زمینی

Table 4. Estimate of general combining ability (GCA) for some agronomic and tuber quality traits of potato

Parent	والد	عملکرد غده Tuber yield	وزن غده در بوته Tuber weight plant^{-1}	تعداد غده در بوته Tuber number plant^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number plant^{-1}	میانگین قطر ساقه اصلی Mean of main stem diameter	درصد ماده خشک غده Dry matter content
Luca	لوکا	3.94**	63.91*	-0.036	-1.315*	0.375 *	0.003	0.582
Savalan	ساوالان	3.12*	48.69 *	0.659	0.221	0.50 **	0.039	-0.037
Satina	ساتینا	-2.93*	-43.64	-0.658	1.256	0.00	0.923	-0.277
Caesar	کایزر	-3.13*	-48.96*	0.036	-0.162*	0.125	-0.965	-0.267

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

از میان چهار رقم سیب زمینی مورد مطالعه، ارقام لوکا و ساوالان دارای بالاترین ترکیب پذیری عمومی و ارقام ساتینا و کایزر دارای کمترین مقدار ترکیب پذیری عمومی برای عملکرد غده، وزن غده در بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته بودند. برای صفات تعداد غده در بوته و درصد ماده خشک غده و قطر ساقه اصلی ترکیب‌پذیری عمومی ارقام معنی‌دار نشد (جدول ۴). نتایج این پژوهش نشان داد که ارقام لوکا و ساوالان، به عنوان بهترین ترکیب کننده برای عملکرد غده، وزن غده در بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته بودند (جدول ۴). بنابراین این والدین ممکن است برای بهبود ترکیب‌های تلاقی مختلف مورد استفاده قرار گیرند.

ارقام لوکا و ساوالان دارای ترکیب‌پذیری عمومی و توانایی خوبی برای انتقال عملکرد غده بودند و از این نظر می‌توانند به عنوان یکی از والدین در برنامه های به نژادی برای بهبود عملکرد غده مورد استفاده قرار گیرند. ارقام کایزر و ساتینا به علت دارا بودن ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای عملکرد غده نمی‌توانند در برنامه‌های به نژادی برای عملکرد غده مناسب باشند. وجود ترکیب پذیری عمومی منفی برای ارقام لوکا و کایزر برای ارتفاع بوته نشان دهنده آن بود که در بین نتاج این ارقام می‌توان ژنوتیپ‌های پاکوتاهی را پیدا کرد. با توجه به این که ترکیب‌پذیری عمومی بر مبنای اثر افزایشی ژن‌ها می‌باشد، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که دارای ترکیب‌پذیری عمومی نسبتاً بالای هستند دارای اثر افزایشی زیادی نیز می‌باشند (Dehghanpour, 2013).

ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار برای عملکرد غده مربوط به ترکیب‌های ♂Savalan×♀Luca، ♂Satina×♀Luca، ♂Caeser×♀Luca، ♂Caeser×♀Savalan، ♂Savalan×♀Caeser و ♂Luca×♀Caeser؛ برای وزن غده در بوته مربوط به ترکیب‌های ♂Satina×♀Luca، ♂Caeser×♀Luca، ♂Savalan×♀Luca، ♂Caeser×♀Savalan، ♂Satina×♀Savalan، ♂Caesar×♀Satina، ♂Luca×♀Satina، ♂Luca×♀Caeser و ♂Savalan×♀Caeser؛ برای تعداد غده در بوته مربوط به ترکیب‌های ♂Satina×♀Luca، ♂Savalan×♀Luca، ♂Caeser×♀Savalan ؛ ارتفاع بوته مربوط به ترکیب‌های ♂Satina×♀Luca، ♂Caeser×♀Luca، ♂Satina×♀Savalan و ♂Caesar×♀Satina؛ برای تعداد ساقه اصلی در بوته مربوط به ترکیب‌های ♂Caesar×♀Satina و ♂Satina×♀Caeser ؛ برای میانگین قطر ساقه اصلی مربوط به ترکیب‌های ♂Savalan×♀Caeser و ♂Savalan×♀Satina و برای درصد ماده خشک غده ترکیب ♂Luca×♀Caeser بیشتر بود (جدول ۵).

ترکیب‌پذیری خصوصی منفی و معنی‌دار برای عملکرد غده و وزن غده در بوته مربوط به ترکیب ♂Savalan×♀Satina بود

جدول۵- برآورد ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) برای برخی صفات زراعی و کیفیت غده دورگ های سیب زمینی

Table 5. Estimate of specific combining ability (SCA) for some agromomic and tuber quality traits of potato

تلاقی Cross	عملکرد غده Tuber yield	وزن غده در بوته Tuber weight plant^{-1}	تعداد غده در بوته Tuber number plant^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number plant^{-1}	میانگین قطر ساقه اصلی Mean of main stem diameter	درصد ماده خشک غده Dry matter content
Luca × Savalan	5.15*	2048.19**	0.459**	-0.953**	0.00	0.875	0.902
Luca × Satina	9.68**	2007.04**	1.286**	4.361**	0.50	1.716	-0.093
Luca × Caesar	9.39**	2108.88**	-0.408**	2.593**	-0.13	-0.138	0.285
Savalan × Satina	3.98	1972.19**	-0.407**	3.436**	-0.63	0.589	-0.131
Savalan × Caesar	5.26*	1916.74**	1.799**	-3.243**	0.50	0.450	-0.093
Satina × Caesar	-2.27	1774.41**	-0.786**	7.435**	0.75*	-2.405*	0.097
Savalan × Luca	0.06	86.71	-0.490	2.173	0.50	0.165	0.225
Satina × Luca	0.06	166.78**	2.000	-0.148	0.50	0.259	0.740
Caesar × Luca	13.14**	242.19**	0.000	-5.552*	-1.00*	2.348	1.259*
Satina × Savalan	-14.80**	-279.16**	-0.998	-0.027	0.50	2.998*	0.082
Caesar × Savalan	9.03**	170.31**	-0.778	-2.907	0.50	3.581*	-0.044
Caesar × Satina	-1.08	-17.63	0.000	0.850	1.50**	0.000	0.120

* and *: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

(جدول ۵). ترکیب پذیری خصوصی برای تعداد غده در بوته مربوط به ترکیب‌های ♂Caeser × ♀Luca، ♂Satina × ♀Savalan و ♂Caesar × ♀Satina، برای ارتفاع بوته مربوط به ترکیب‌های ♂Savalan×♀Luca، ♂Caeser×♀Savalan و ♂Luca×♀Caeser، بیشتر بود. بالاترین ترکیب پذیری خصوصی برای تعداد ساقه اصلی در بوته مربوط به ترکیب ♂Luca×♀Caeser و برای میانگین قطر ساقه اصلی برای ترکیب ♂Satina×♀Caeser مشاهده شد (جدول ۵).

ترکیب‌پذیری خصوصی بالا نشان دهنده وجود اثر غالبیت در کنترل صفات مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین استفاده از این ارقام برای افزایش فراوانی ژن‌های با اثر غیرافزایشی جهت تولید دورگ ها می‌توانند مفید باشد. ترکیب‌پذیری خصوصی سهم غیرافزایشی واریانس ژنتیکی را بیان می‌کند. تلاقی‌های ♂Satina×♀Luca، ♂Caeser×♀Luca، ♂Savalan×♀Luca، ♂Caeser×♀Savalan، ♂Luca×♀Caeser و ♂Savalan×♀Caeser می توانند در برنامه به نژادی و تولید سیب‌زمینی که بر پایه استفاده از اثر ژنتیکی غیرافزایشی استوار می‌باشد، مورد توجه قرار گیرند. در این زمینه بر استفاده از ارقام با ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار برای بهبود عملکرد غده تأکید می‌شود. این نتایج با گزارشات شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 1998)، گوپال (Gopal, 1996) و اقبال و احمدخان (Iqbal and Khan, 2003) مطابقت دارد.

رول و همکاران (Rowel *et al.*, 1986) اعلام نمودند برای تولید دورگ با ترکیب پذیری خصوصی بالا، والدین با ترکیب پذیری عمومی بالا ضرورت ندارد اما ترکیب والدین‌ها با ترکیب پذیری عمومی پایین معمولاً دورگ با ترکیب پذیری خصوصی بیشتر تولید می‌کند. براساس آزمون ترکیب‌پذیری برای صفات مختلف، مقادیر بالاتر ترکیب‌پذیری خصوصی حاکی از سهم بیشتر اثر غالبیت ژن‌ها و اثر بالاتر ترکیب‌پذیری عمومی بیانگر سهم بیشتر اثر افزایشی ژن‌های کنترل کننده این خصوصیات در گیاهان می‌باشد. در صورتی که هر دو مقدار ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی غیرمعنی‌دار باشند بیانگر نقش بارز اثر اپیستاتیک ژن‌ها در کنترل صفات مدنظر می‌باشد (Fehr, 1993). سانفورد (Sanford, 1960) بیان کرد برای بهبود عملکرد غده سیب‌زمینی، ترکیب‌پذیری خصوصی نسبتاً مهمتر از ترکیب‌پذیری عمومی است.

با توجه به ساختار ژنتیکی ارقام سیب‌زمینی می‌توانند دارای اثر ژن از نوع افزایشی، غالبیت و حتی اپیستاتیک باشند. بنابراین استفاده از وراثت‌پذیری با استفاده از روش اجزاء واریانس ممکن است در سیب‌زمینی بسیار قابل اعتمادتر باشد (Ozturk and Yildirim, 2014). وراثت‌پذیری عمومی برای عملکرد غده، وزن غده در بوته، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته و درصد ماده خشک غده بیشتر بود (جدول ۶).

برآورد وراثت‌پذیری عمومی صفات نشان

جدول ۶- برآورد وراثت‌پذیری عمومی برای برخی صفات زراعی و کیفیت غده سیب زمینی

Table 6. Estimate of general heritability for some agromomic and tuber quality traits of potato

عملکرد غده Tuber yield	وزن غده در بوته Tuber weight plant^{-1}	تعداد غده در بوته Tuber number plant^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number plant^{-1}	میانگین قطر ساقه اصلی Mean of main stem diameter	درصد ماده خشک غده Dry matter content
92.50	89.70	67.00	96.13	82.66	56.91	96.43

دهنده نقش بیشتر اثر ژنتیکی در کنترل این صفات می‌باشد و بیانگر اثر افزایشی ژن‌ها تقریباً سهمی برابر با اثر غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی صفات مورد بررسی ایفا می‌نمایند (Golparvar *et al.*, 2004). برخی از پژوهشگران وراثت‌پذیری عمومی بالایی برای عملکرد غده در سیب‌زمینی گزارش کرده‌اند (Sattar *et al.*, 2007; Ummyiah *et al.*, 2010; Rahimi Daraba *et al.*, 2020). برای بهبود صفات مورد نظر با توجه بالا بودن وراثت‌پذیری عمومی برای آنها استفاده از روش گزینش و دورگ‌گیری به صورت توام می‌توانند برای بهبود صفات در دورگ ها بیشتر موثر واقع شود (Tarinejad *et al.*, 2013).

در این پژوهش، ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی عملکرد غده، وزن غده در بوته و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای عملکرد غده، وزن غده در بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته مربوط به والدهای لوکا و ساوالان بود. بیشترین ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار برای عملکرد غده در ترکیب‌های لوکا♀×ساوالان♂، لوکا♀×ساتینا♂، لوکا♀×کایزر♂، ساوالان♀×کایزر♂، کایزر♀×لوکا♂ و کایزر♀×ساوالان♂ مشاهده شد. عملکرد غده، وزن غده در بوته، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته و درصد ماده خشک غده دارای وراثت‌پذیری عمومی بالاتر بودند.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد ژن‌ها با اثر افزایشی و غیرافزایشی در کنترل صفات مورد مطالعه نقش دارند و سهم هر کدام از این اثرها در کنترل هر یک از صفات متفاوت است. برای بهبود ارزش ژنتیکی درصد ماده خشک غده، تعداد ساقه اصلی در بوته و میانگین قطر ساقه اصلی، روش گزینش تا حد زیادی می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد، اما برای عملکرد غده، تعداد و وزن غده در بوته و ارتفاع بوته چندان موفقیت‌آمیز نیست.

سپاسگزاری

نگارنگان بدینوسیله از پشتیبانی‌های مدیریت محترم موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و و مساعدت‌های مدیریت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان

اردبیــل سپاســگزاری مــی‌کننــد. همچنیــین از همکاری کارکنان ایستگاه تحقیقات کشـاورزی آلاروق اردبیل محل اجـرای آزمـایش قـدردانی می شود.

References

Ahmad, S., Quamruzzaman, A. K. M., and Nazim Uddin, M. 2009. Combining ability estimates of tomato (*Solanum lycopersicum*) in late summer. SAARC Journal of Agriculture 7 (1): 43-56.

Ahmadi, K., Ebadzadej, H. R., Hatami, F., Abdshah, H., and Kazemian, A. 2020. Agricultural statistics: 2018-19. Cropping cycle. 1st volume. Volume 1. Field Crops. Information and Communication Technology Center, Deputy of Planning and Economy, Ministry of Jihad Agriculture. 95 pp. (in Persian).

Ahmadian، S., Mortazavian، S. M. M., Ebrahimi، M., Amini، F., Ghorbani Javid, M., and Foghi, B. 2016. Genetic analysis of some morphological traits in wheat using generation mean analysis under normal and drought stress conditions. Journal of Crop Breeding 8 (20): 176-182 (in Persian).

Akhtar, N., and Chowdhry, M. A. 2006. Genetic analysis of yield and some other quantitive traits in bread wheat. International Journal of Agriculture and Biology 4: 523-527.

Bradshaw, J. E., and Mackay, G. R. 1994. Potato genetics. CAB International. 552 pp.

Campos, H., and Ortiz, O. 2020. The potato crop. International Potato Center Lima Peru. Springer. 518 pp.

Christie, B. R., Shattuck, V. I., and Dick, J. A. 1988. The diallel cross, its analysis and interpretation. Office for Educational Practice, University of Guelph. 134 pp.

De la Vega, A. J., and Chapman, S. C. 2006. Multivariate analysis to display interactions between environment and general or specific combining ability in hybrid crops. Crop Science 46 (2): 957-967.

Dehghanpour, Z. 2013. Diallel analysis of grain yield, number of kernel rows per ear and number of kernels per row in early maturity maize hybrids. Iranian Journal of Crop Sciences 15 (4): 355-366 (in Persian).

Falconer, D. S., and Mackay, T. F. C. 1996. Introduction to quantitative genetics. Benjamin-Cummings Publication Co.; Subsequent edition. 480 pp.

FAO. 2021. FAO statistical data. Food and Agriculture Organizaetion of United Nations. Rome, Italy. Available on: www.faostat.org.

Farshadfar, E. 1997. Methodology in plant breeding. Razi University Press. 616 pp. (in Persian).

Fathi, M. R., Mesbah, M., Ranji, Z., Wazan, S., and Farrokhi, E. 2007. Evaluation of general and specific combining ability of sugar beet diploid pollinators. Journal of Sugar Beet 23 (2): 162-151 (in Persian).

Fehr, W. R. 1993. Principles of cultivar development. Volume 1. MacMillan Publication Co. New York, USA. 342 pp.

Gholinezhad, E., and Darvishzadeh, R. 2018. Estimates of variance components and heritability of grain yield and yield components in confectionary sunflower landraces in different levels of irrigation. Plant Productions 41 (2): 29-40 (in Persian).

Golparvar, A.R., Majidi Herwan, I., Rezaei, A. M., and Ghasemi Pirblouti, A. 2004. Genetic study of some morpho-physiological traits in bread wheat under drought stress. Journal of Pajouhesh-va-Sazandegi (Agronomy and Horticulture) 62: 95-90 (in Persian).

Gopal, J. 1996. In vitro selection, genetic, divergence and cross prediction in potato. Ph. D. thesis. Punjab Agricultural University. Ludhiana, India. 205 pp.

Gopal, J. 1997. Progeny selection for agronomic characters in early generations of a potato breeding programme. Theoretical and Applied Genetics 95: 307-311.

Gopal, J. 1998. General combining ability and its repeatability in early generations of potato breeding programmes. Potato Research 41 (1): 21-28.

Gopal, J., and Khurana, S. M. 2006. Handbook of potato production, improvement, and postharvest management. CRC Press. 638 pp.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian Journal of Biological Sciences 9 (4): 463-493.

Gunarto, H. 2019. Parametric and non-parametric data analysis for social research. LAP Lambert Academic Publishing. 156 pp.

Haji Pourbagheri, A., Nematzadeh, G. A., Peganbari, S. A., and Norouzi, M. 2005. Estimation of combining ability and gene effects in rice cultivars and lines by line × tester analysis. Iranian Journal of Agricultural Sciences 36 (4): 947-953 (in Persian).

Haydar, A., Alam, M. K., Khokan, E. H., Ara, T., and Khalequzzaman, K. M. 2009a. Combining ability and genetic variability studies in potato. Journal of Soil and Nature 3 (2): 1-3.

Haydar, A., Islam, M. A., Ara, T., Khokan, E. H., and Khalequzzaman, K. M.

2009b. Studies on genetic variability, correlation and path analysis in potato. International Journal of Sustainable Agricultural Technology 5(1): 40-44.

Iqbal, M. Z., and Khan, S. A. 2003. True potato seed (TPS) seedling tuber production technology in Pakistan. Asian Journal of Plant Science 2 (4): 384-387.

Kehr, W. R., Ogden, R. L., and Kindler, S. D. 1970. Diallel analyses of potato leafhopper injury to alfalfa. Crop Science 10 (5): 584-586.

Kellick R. J. 2008. Genetic analysis of several traits in potatoes by means of diallel cross. Annals of Applied Biology 86 (2): 279-289.

Kempthorne, O. 1957. An introduction to genetic statistics. John Wiley and Sons, Inc. New York. 545 pp.

Khahani, B., Bihamta, M. R., and Naserian B. 2018. Estimation of general and specific combining abilities of morphological traits and grain yield in bread wheat. Journal of Crop Breeding 10 (25): 53-62 (in Persian).

Khani, M., Daneshian, J., Ghannadha, M. R., Zeinali Khanghah, H., and Ismaili, A. 2005. Genetic analysis of some morpho-physiological traits in sunflower under drought stress conditions using line × tester mating design. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 12: 173-161 (in Persian).

Manivel, P., Pandey, S. K., Singh, S. V., and Kumar, D. 2010. Heterosis and combining ability for tuber dry matter and yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) over two clonal generations under short-day subtropic conditions. Electronic Journal of Plant Breeding 1 (3): 287-296.

Mather, K., and Jinks, J. L. 1977. Introduction to biometricalgenetics. Chapman and Hall. London. 231 pp.

Moghadam, M., and Amiri Oghan, H. 2010. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Parivar Publication Co. 416 pp. (in Persian).

Moghaddaszadeh, M., Asghari Zakaria, R., Hassanpanah, D., and Zare, N. 2019. Combining ability and heterosis for some agro-morphological traits in potato (*Solanum tuberosum* L.) using line × tester mating design. Plant Production 42 (1): 63-76 (in Persian).

Mohammadi, R., Dehghani, H., Karimzadeh, G. H., and Dan, F. 2013. An estimation of genetic parameters, general and specific combining ability on endemic cantaloupe populations. New Genetics 8 (4): 375-386 (in Persian).

Mohammed, M. I. 2009. Line × tester analysis across locations and years in Sudanese

× exotic lines of forage sorghum. Journal of Plant Breeding and Crop Science 1 (9): 311-319.

Mondal, M. A. A., and Hossain, M. M. 2006. Combining ability in potato (*Solanum tuberosum* L.). Bangladesh Journal of Botany 35 (2): 125-131.

Neele, A. E. F., Nab, H. J., and Louwes, K. M. 1991. Identification of superior parents in a potato breeding programme. Theoretical and Applied Genetics 82: 264–272.

Ozturk, G., and Yildirim, Z. 2014. Heritability estimates of some quantitative traits in potatoes. Turkish Journal of Field Crops 19 (2): 262-267.

Rahimi Darabad, G. H., Hassandokh, M. R., Hassanpanah, D., and Mousavi, A. 2020. Diallel cross in potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) and evaluation of their progenies under deficit water stress. Acta Agrobotanica 73 (2): 1-9.

Rather, A. G., Najeeb, S., Sheikh, F. A., Shikari, A. B., and Dar, Z. A. 2007. Combining ability analysis in maize (*Zea mays* L.) under high altitude temperate conditions of Kashmir. The Maize Genetics Cooperation Newsletter 81: 202-216.

Richards, R. A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. Plant Growth Regulation 20: 157-166.

Rowel, A. B., Ewing, E. E., and Plaisted, R. L. 1986. General combining ability of Neo-tuberosum for potato production from true seed. American Potato Journal 63: 141-153.

Ruiz de Galarreta, J. I., Ezpeleta, B., Pascualena, J., and Ritter, E. 2006. Combining ability and correlations for yield components in early generations of potato breeding. Plant Breeding 125 (2): 183-186.

Sadat Hashemi, A. ,Nematzadeh, G., Babaeian Jelodar, N., and Ghasemi, O. 2008. Study of gene effects for quantitative traits in rapeseed via diallel analysis. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 15 (4): 81-92 (in Persian).

Sanford, L. L. 1960. Comparative evaluation of clones as testers for yield, specific gravity and tuber appearance in the potato. Iowa State University. 66 pp.

Sattar, M. A., Sultana, N., Hossain, M. M., Rashid, M. H., and Islam, A. K. M. A. 2007. Genetic variability, correlation and path analysis in potato (*Solanum tuberosum* L.). Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics 20 (1): 33-38.

Sharifi, P., Dehghani, H., Momeni, A., and Moghaddam, M. 2010. Diallel analysis for heterosis study and estimation of genetic parameters for some morphological traits in rice. Seed and Plant Improvement Journal 1-26 (1): 104-77 (in Persian).

Sharma, Y. K., Katoch, P. C., Sharma, S. K., and Chaudhary, S. K. 1998. Genetic analysis for combining ability in true potato seed populations. Journal of the Indian Potato Association 25: 33-38.

Tarinejad, A. R., Azizi, P., Rashidi, V., and Ghaffari, M. 2013. Heritability and genetic variance components in sunflower single cross hybrids. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 22 (4): 1-13 (in Persian).

Teklewold, A., and Becker, H. C. 2005. Heterosis and combining ability in a diallel cross of Ethiopian mustard inbred lines. Crop Science 45: 2629-2635.

Terres, L. R., Lenz, E. A., Rocha, D., Cerioli, M., and Pereira, A. D. S. 2017. Combining ability of potato parents for tuber appearance and tuber yield component traits. Crop Breeding and Applied Biotechnology 17 (2): 99-106.

Thompson, P. G., and Mendoza H. A. 1984. Genetic variance estimates in a heterogeneous potato population propagated from true seed (TPS). American Journal of Potato Research 61: 697-702.

Ummyiah, H. M., Khan, S. H., Wani, K. P., Hussain, K., and Junaif, N. 2010. Genetic variability in potato (*Solanum tuberosum* L.). The Asian Journal of Horticulture 5 (1): 61-63.

Upadhya, M. D., Hardy, B., Guar., P. C., and Iiantileke, S. G. 1996. Production and utilization of the potato seed in Asia. International Potato Center. 233 pp.

Yap, T. C., and Harvey, B. L. 1972. Inheritance of yield components and morpho-physiological traits in barley. Crop Science 12: 283-286.